

УДК 551.524/.553:551.583.1

В.П.Евстигнеев\*, В.А.Наумова\*\*, М.П.Евстигнеев\*\*\*

\**Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

\*\**Севастопольская гидрометобсерватория, г.Севастополь*

\*\*\**Севастопольский национальный технический университет, г.Севастополь*

## **ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В РЯДАХ НАБЛЮДЕНИЙ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭТАП ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

С использованием современного метода поиска и устранения неоднородностей проведен анализ однородности рядов температур воздуха и скоростей ветра для пунктов наблюдений Азово-Черноморского побережья Украины. Установлено, что существенное влияние оказывают следующие факторы: температура воздуха – смена местоположения пункта наблюдения; скорость ветра – смена высоты установки ветроизмерительного прибора, смена местоположения пункта, застройка прилегающей к наблюдательной площадке территории (урбанизация). Получены однородные ряды по скорости ветра с 1954 г., по температуре воздуха – за весь период наблюдений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *однородность, температура воздуха, скорость ветра, гомогенизация, Азово-Черноморский регион Украины.*

Наличие качественных и однородных массивов гидрометеорологических данных является необходимым требованием для корректного изучения причин и механизмов изменений климата. Климатологически однородным считается такой ряд, межгодовая изменчивость элементов которого определяется естественной изменчивостью макропроцессов, формирующих погоду и климат данного района. Климатологическая однородность может быть нарушена такими факторами как: изменение местоположения станции, изменение растительных ландшафтов и изменение методики наблюдений и прочего [1]. Наличие неоднородностей во временных рядах приводит к неопределенности в оценках масштабов климатической изменчивости гидрометеорологических характеристик. Особо критичен этот вопрос при оценке экстремальных гидрометеорологических явлений. Как было отмечено в [2], даже незначительное изменение в рядах средних значений величины может приводить к существенному ее изменению в экстремальном диапазоне изменчивости.

Более или менее надежно детектируются и устраняются скачки неоднородности, характеризуемые резким изменением величины в среднем значении или ее дисперсии. Процедура поиска может проводиться в полуавтоматическом или полностью автоматическом режимах [1] с использованием метаданных по пунктам наблюдений, содержащих историческую информацию об изменениях в методиках измерений и пр. Объективные статистические методы выявления неоднородностей условно делятся на абсолютные и относительные. В относительных методах используется концепция однородных пунктов-аналогов для определения и исключения из анализа климатических тенденций, характерных для всего рассматриваемого региона. Для характеристик ветра эта концепция неприменима вследствие довольно сильного влияния локальных условий местности. В таких случаях прибега-

© В.П.Евстигнеев, В.А.Наумова, М.П.Евстигнеев, 2013

ют к абсолютным методам, где поиск неоднородностей осуществляется с использованием собственной статистики проверяемого ряда.

В настоящей работе проверка рядов данных на однородность осуществлялась по методу [3], использующего пенализированный максимальный  $t$ - и  $F$ -тесты для поиска скачкообразных сдвигов в среднем значении ряда [3] и реализованного в виде рекурсивного алгоритма в библиотеке RhtestsV3 программной среды “R Software” (version 2.15.2). Данный алгоритм является одним из наиболее эффективных, в настоящее время, для детектирования множественных скачков-сдвигов и был ранее успешно применен для выявления неоднородностей в многолетних рядах данных различных гидрометеорологических элементов, включая скорость ветра [4]. Метод учитывает не только наличие линейного тренда, но и периодических составляющих (например, сезонный цикл), а также автокорреляцию ряда данных (с единичным лагом), что позволяет сохранить высокое качество детектирования неоднородностей гидрометеорологической величины на фоне естественной климатической изменчивости.

В настоящей работе с помощью метода [3] рассмотрен вопрос однородности исторических рядов данных по характеристикам ветра и температуре воздуха на Азово-Черноморском побережье Украины. Алгоритм RhtestsV3 использовался для анализа однородности как месячных, так и суточных рядов данных. Поиск сдвигов в рядах температуры воздуха осуществлялся с использованием пунктов-аналогов, определяемых по их взаимной коррелированности. В теории аналог должен быть однородным (т.е. не содержащим сдвиги), в реальности – такие пункты довольно сложно обнаружить, во всяком случае, подобрать такой аналог для каждого пункта не представляется

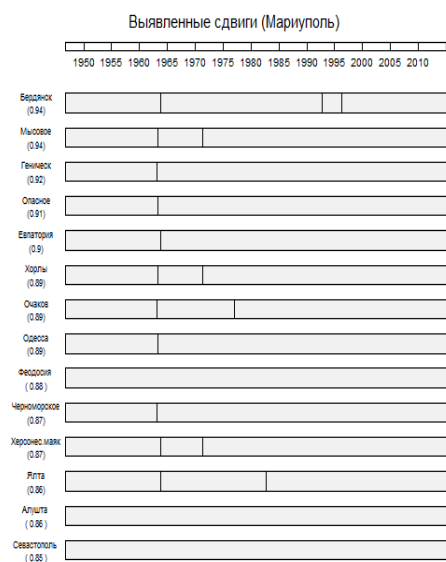


Рис. 1. Сдвиги в ряде средне-месячных температур воздуха для Мариупольской ГМО. Группа сдвигов в 1963 г. связана с переносом пункта наблюдения.

возможным. В этом случае рекомендуют проводить анализ по нескольким аналогам, по которым проявится один и тот же сдвиг (см. пример на рис.1). Анализ показал, что для рядов температуры воздуха наиболее критичной, с точки зрения однородности, оказалась смена местоположения пункта наблюдения.

Контроль однородности наблюдений за ветром производился на рядах данных средней скорости ветра, суточного и месячного разрешений для всех станций морской береговой сети Украины за весь доступный исторический ряд наблюдений. Учитывая, что ряд значений скорости ветра не следует нормальному распределению [5], нами дополнительно была использована модификация алгоритма RhtestsV3, выполняющая процедуру предварительной Бокс-Кокс трансформации рядов данных с целью минимизации

ошибки априорной гипотезы  $t$ - и  $F$ -тестов о нормальности распределения случайных отклонений во входном наборе данных [3].

На уровне суточного разрешения в рядах скоростей выявлялось большое число сдвигов, которые не во всех случаях могли быть интерпретированы из-за отсутствия полной информации о ветроизмерительных приборах, использовавшихся на морских береговых пунктах, в особенности за период до 1950 г. Кроме того, с 1954 г. наблюдения стали выполняться более точно по комплекту флюгеров (с тяжелой и легкой доской), что позволило измерять скорости ветра более 20 м/с. В связи с этим возник вопрос о целесообразности ограничения рассматриваемого периода лет по ветру 1954-м годом.

За исторический период на многих пунктах наблюдения высота установки значительно и многократно менялась. В связи с этим в настоящей работе для всех пунктов наблюдения измеренные срочные скорости ветра были приведены к высоте 10 м [6]. Пересчет скорости ветра  $v(h)$  на стандартную высоту 10 м производился по упрощенной формуле (1), используемой в Гидрометслужбе Украины [6]:

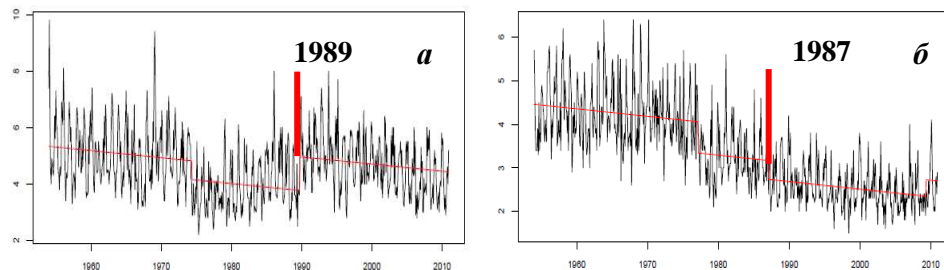
$$v(h) = v(10\text{м})[0,233 + 0,656 \cdot \lg(4,75 + h)], \quad (1)$$

где  $h$  – высота установки прибора.

Кроме изменений высоты установки прибора, на однородности рядов может сказаться переход на новые ветроизмерительные приборы. На смену флюгерам Вильда в начале 70-х гг. пришли новые ветроизмерительные приборы – анеморумбометры. Различными авторами предлагались методы приведения результатов наблюдений по флюгеру и анеморумбометру. Однако в работе [7] показано, что результаты приведения разными методиками практически не отличаются для скоростей до 14 м/с. Поскольку для большинства пунктов наблюдения повторяемость ветра градаций более 14 м/с составляет несколько процентов, поэтому вопрос о выборе оптимального способа приведения скоростей флюгер-анеморумбометр теряет свою актуальность. Нами использовалась методика Е.В.Мастрюковой, которой был предложен единый коэффициент 0,88, применяющийся к скоростям ветра 10 м/с и более, измеренным флюгером. Вопреки ожиданиям, на некоторых станциях сдвиг среднемесячной скорости ветра в промежутке 70-х гг. не устранился. Возможно, этот сдвиг частично обусловлен естественными климатическими изменениями, например, в режиме атмосферной циркуляции [8]. По этой причине дальнейшее устранение этих сдвигов мы не проводили.

На протяжении всего периода регулярных наблюдений пункты неоднократно меняли свое местоположение, в том числе и в исследуемый период (например, на рис.2, *а* для МГ Черноморское). Анализ, однако, показал, что изменение местоположения пункта наблюдения не всегда приводил к нарушению однородности ряда наблюдения за скоростью ветра (например, МГ Евпатория). Изменение степени защищенности метеорологической площадки (которая чаще всего обусловлена урбанизацией) является также одним из наиболее важных элементов оценки репрезентативности данных измерения характеристик ветра. Ярким примером нарушения однородности ряда вследствие этого фактора служат данные наблюдения МГ Феодосия (рис.2, *б*).

Следует отметить, что в большинстве случаев выявленные сдвиги, в зависимости от причин их вызвавших, достигали значений 0,5 – 2,0 м/с и 0,2 –

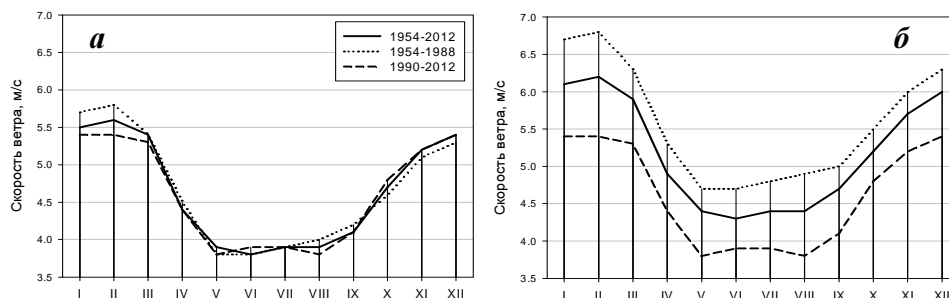


Р и с . 2 . Сдвиг в среднемесячной скорости ветра по данным МГ Черноморское (а), обусловленный переносом пункта наблюдения, и сдвиг по МГ Феодосия (б), обусловленный изменением степени защищенности метеоплощадки.

5,0 °С для скоростей ветра и температур воздуха соответственно. Такие величины сдвигов могут существенно повлиять на оценку ветрового режима рассматриваемых пунктов. В связи с этим после детектирования сдвигов была осуществлена процедура гомогенизации рядов температур воздуха и скоростей ветра. Устранение сдвигов, связанных со сменой местоположения пункта наблюдения и, в отдельных случаях, с изменением степени защищенности (в случае наличия информации о застройке зданиями), проводилось с использованием самого алгоритма RНtestsV3.

После приведения рядов к однородным статистико-климатические характеристики, рассчитанные на их основе могут существенно отличаться от оценок по исходному ряду. Наиболее яркое различие прослеживалось для рядов скоростей ветра. Например, по данным МГ Бердянск за период 1954-2012г.г. основной причиной возникновения неоднородностей является изменение высоты установки ветроизмерительного прибора. После приведения к 10м среднемесячные скорости ветра исходного ряда оказались завышенными на 0,4-0,6м/с по отношению к приведенным данным. Наиболее значительные различия были отмечены для опасных скоростей ветра 12м/с и более, где разность повторяемости для приведенного ряда в среднем за год оказалась в 2,6 раза меньше.

В результате проведенной процедуры восстановления однородности ряда скоростей ветра на МГ Черноморское был устранен сдвиг, обусловленный переносом пункта наблюдения (1989 г.). В качестве иллюстрации на рис.3 представлены среднемесячные скорости ветра для различных месяцев, рассчитанные для периодов до и после сдвига и за весь период в целом, отдельно



Р и с . 3 . Среднемесячные скорости ветра исходного (а) и восстановленного (б) ряда для МГ Черноморское.

для исходного и восстановленного рядов. Наиболее значительные различия на МГ Черноморское были отмечены для скоростей ветра 12 м/с и более, где повторяемость таких скоростей для восстановленного ряда в среднем за год стала в 1,4 раза больше. Такое различие существенно изменяет представление о повторяемости опасных значений скоростей ветра для морских отраслей.

Продолжительные ряды морских гидрометеорологических наблюдений являются уникальными и представляют значительную научную ценность. Однако использование этих данных для описания режима имеет естественные ограничения, накладываемые методикой измерения и локальными особенностями пункта наблюдения. В связи с этим поиск и устранение неоднородностей в рядах, обусловленных неестественными причинами, является ключевой задачей при обработке гидрометеорологических данных и климатических обобщениях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ДФФД (проект № Ф53.6/054).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cao Li-J., Yan Z.-W.* Progress in research on homogenization of climate data // *Adv.Clim.Change Res.*– 2012.– v.3(2).– P.59-67.
2. *Trenberth K.E.* Framing the way to relate climate extremes to climate change // *Clim.Change.*– 2012, doi: 10.1007/s10584-012-0441-5.
3. *Wang X.L.* Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change // *J. Atmos. Oceanic Tech.*– 2008.– v.25, № 3.– P.368-384.
4. *Wan H., Wang X.L., Swail V.R.* Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds // *J. Climate.*– 2010.– v.23.– P.1209-1225.
5. *Брагинская Л.Л., Каган Р.Л.* К вопросу об аппроксимации распределения скоростей ветра // *Тр. ГГО.*– 1982.– вып.447.– С.49-57.
6. *Руководство по авиационной метеорологии* [8-е изд.]– ICAO, doc.8896, 2008.– 179 с.
7. *Мещерская А.В. и др.* Изменение скорости ветра на севере России во второй половине XX века по приземным и аэрологическим данным // *Метеорология и гидрология.*– 2006.– № 9.– С.46-58.
8. *Vautard R. et al* Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness // *Nat. Geosci.*– 2010.– v.3.– P.756-761.

Материал поступил в редакцию 12.07.2013 г.

**АНОТАЦІЯ** З використанням сучасного методу пошуку та усунення неоднорідностей проведено аналіз однорідності рядів температур повітря і швидкостей вітру для пунктів спостережень Азово-Чорноморського узбережжя України. Встановлено, що істотний вплив роблять наступні фактори: температура повітря - зміна місця розташування пункту спостереження; швидкість вітру – зміна висоти установки вітровимірювальних приладу, зміна місця розташування пункту, забудова прилеглої до спостережної майданчику території (урбанізація). Отримано однорідні ряди по швидкості вітру з 1954 р., по температурі повітря – за весь період спостережень.

**ABSTRACT** Using modern techniques for the elimination of irregularities the homogeneity of series of air temperature and wind speed for the observation points of the Azov-Black Sea coast of Ukraine is analysed. It is found that significant influence has the following factors: air temperature – a change of location of the observation point, wind speed – change of altitude of device installation, change of location points, buildings adjacent to the observation platform area (urbanization). The homogeneous series of wind speed since 1954, according to the air temperature – for the whole observation period are obtained.